

*НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”*

**Чибіряк Яна Іванівна**

УДК 621.717

**СКОРОЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ВИРОБНИЧОГО  
ЦИКЛУ ШЛЯХОМ СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ  
ВИРОБІВ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Харків – 2002**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі експлуатації та ремонту машин Сумського національного аграрного університету.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор,  
**Захаров Микола Володимирович,**  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми,  
завідувач кафедри експлуатації і ремонту машин.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Арпентьєв Борис Михайлович,**  
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків,  
завідувач кафедри технології машинобудування;  
  
кандидат технічних наук,  
**Ремньов Олексій Ілліч,**  
Сумський державний університет, м. Суми,  
доцент кафедри технології машинобудування.

***Провідна установа***

Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування Державного комітету промислової політики України, м. Харків.

Захист відбудеться “28” березня 2002 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий “27” лютого 2002 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Узунян М.Д.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На прискорення темпів економічного росту значний вплив здійснює технічна реконструкція підприємств, що передбачає підвищення технічного рівня машин, приладів. Ріст темпів технічної реконструкції в значній мірі досягається удосконаленням виробничих процесів. Аналіз виробництва показав відставання складальних процесів від заготівельних і механооброблюючих. Більший відсоток усіх видів робіт при виготовленні продукції займає складання, але разом з тим відзначається її низький рівень механізації і автоматизації. Так, трудоемність складання виробів: у машинобудуванні – 25-40%, у приладобудуванні – 40-70%; рівень механізації: у машинобудуванні – 25-30%, у приладобудуванні – 12-15%; при цьому автоматизовано не більше 5-6% складальних операцій.

Одним із шляхів підвищення рівня складальних виробництв, є розробка раціональних технологічних процесів складання (ТПС). Ефективність ТПС у значній мірі залежить від раціонального синтезу послідовності складання. Від послідовності складання залежить тривалість виробничого циклу, продуктивність, собівартість. При цьому важливо проектувати таку послідовність складання, що приводила б до скорочення тривалості виробничого циклу, так як це дає змогу збільшити продуктивність праці, знизити собівартість продукції, прискорити обіг коштів, вкладених у виробництво, зменшити обсяг виробничих площ на підприємстві. Крім того тривалість циклу може виступати в якості самостійного часового критерію оцінки виробничого процесу. Важливо не тільки максимально скорочувати тривалість циклу, але і визначати резерви його скорочення, виходячи з можливостей конструкції виробу і виробничої системи. Задача визначення послідовності складання є конструкторсько-технологічною, що і визначає складність її рішення. Тому необхідно враховувати не тільки конструкторські особливості виробу, що визначають властивості конструкції, взаємозв'язок між її елементами, але і технологію виконання операцій, види устаткування, структуру виробничого процесу. Разом з цим до виробу, що складається, повинні пред'являтися вимоги по забезпеченню заданої якості (точності, герметичності і т.д.). Не можна забувати і про вплив складальної виробничої системи на стан навколишнього середовища, зокрема на здоров'я працюючих людей. Тому, при побудові раціональної послідовності складання необхідно враховувати ряд конструкторських, технологічних і екологічних факторів. Їх врахування і розробка на їхній основі раціональних ТПС дає можливість підвищити якість технологічного проектування, виготовляти вироби заданої якості, раціонально використовувати трудові, виробничі, енергетичні ресурси підприємства.

**Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами.** Напрямок досліджень в дисертаційній роботі пов'язаний з держбюджетними темами: 0197U016597 “Розробка методики проектування високоефективних переналаджуваних систем”, 0194U009734 “Розробка методів і

методик створення технічних систем (операційних комплексів) для підвищення якості виробів у машинобудуванні”, а також з виконанням науково-дослідних робіт проблемної науково-дослідної лабораторії “Автоматизація технологічних процесів і виробництва” на базі Сумського національного аграрного університету (СНАУ), з виконанням госпдоговорів №20-99, №24-99, №27-99, №29-00, №11/01, робота по яким проводилася у СНАУ на протязі 1999-2001 років.

**Мета роботи і задачі дослідження.** *Мета* дисертаційної роботи – розробка методу синтезу раціональної послідовності складання виробів.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виявити шляхи скорочення тривалості виробничого циклу;
- виконати аналіз впливу послідовності складання на тривалість виробничого циклу;
- розробити технологічні основи синтезу раціональної послідовності складання виробів;
- розробити метод синтезу раціональної послідовності складання виробів, що дозволяє мінімізувати тривалість виробничого циклу;
- розробити алгоритмічне і програмне забезпечення рішення задачі синтезу послідовності складання виробів;
- здійснити промислову апробацію одержаних наукових результатів;
- розробити практичні рекомендації по використанню одержаних результатів на виробництвах і в наукових процесах вузів.

*Об’єкт дослідження* – технологічний процес складання виробів.

*Предмет дослідження* – послідовність складання виробів.

*Методи дослідження* базуються на використанні системного підходу, теорії графів і теорії матриць, математичної логіки, математичного та ситуативного моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у тому, що одержала подальший розвиток теорія проектування технологічних процесів складання з урахуванням як конструкторсько-технологічних ознак виробу, так і технологічних основ складальних процесів, що впливають на його раціональність. При цьому:

1) Розроблено метод синтезу раціональних варіантів послідовності складання виробів, який враховує конструкторсько-технологічні признаки виробу, характеристики засобів технологічного оснащення, технологічні закономірності синтезу раціональної послідовності складання виробів і дозволяє мінімізувати тривалість виробничого циклу. Конструкторсько-технологічними властивостями та технологічними признаками являються: наявність базування між складальними елементами; обмеження доступу одних деталей другими до місця установки; можливість виділення вузлового складання; можливість одночасної установки кількох деталей на базову; кількість установів і позицій; складальні розмірні ланцюги;

точнісні параметри деталей; можливості обладнання, що виконує складання; екологічні обмеження і правила безпечного виконання роботи при складанні.

2) Розроблено математичну модель виробу і виробничої системи, що враховує складальні розмірні ланцюги, наявність базування, виділення вузлового складання і одночасну установку деталей і складальних одиниць на базову, екологічні вимоги і вимоги техніки безпеки.

3) Розроблено алгоритм синтезу послідовності складання виробу, який відрізняється тим, що на основі системного підходу враховується комплекс факторів, які дозволяють сформулювати задану якість виробу і мінімізувати тривалість виробничого циклу.

**Практичне значення одержаних результатів** визначається у використанні їх у виробництві і навчальному процесі ВУЗів і складається: з розробки практичних рекомендацій синтезу послідовності складання виробів, які використовуються в промисловості і в навчальному процесі, а також при виконанні держбюджетних і госпдоговірних робіт; з розробки програмного забезпечення рішення задачі, що дозволяє скоротити виробничий цикл і забезпечити задану якість виробу. Результати дисертаційної роботи впроваджено: на виробничому об'єднанні ДНВП "НИКМАС-РОТОР" м. Суми, у виробничий процес ВАТ "ДОНЕЦЬКГОРМАШ", м. Донецьк, в ОАО "ЛуганськПТИМАШ", м.Луганськ, у виробничий процес ОАО "Сумського машинобудівного НВО ім.Фрунзе", а також у навчальний процес Української інженерно-педагогічної академії (УІПА) і СНАУ. Використання одержаних результатів у промисловості дозволило скоротити тривалість виробничого циклу на 15-20%, забезпечити високу якість випускаючих виробів. Економічна ефективність від впровадження розробок на вище названих підприємствах склала 53 тис. грн. в рік, 48 тис. грн. в рік та 28 тис. грн. в рік, 32 тис. грн. в рік відповідно. Використання одержаних результатів у навчальному процесі дозволяє підвищити якість підготовки випускаючих спеціалістів.

Достовірність результатів дослідження забезпечується: використанням системного підходу, сучасного математичного апарату (теорії графів і теорії матриць, математичної логіки, математичного і ситуативного моделювання, методів оптимізації), а також апробацією одержаних результатів в промисловості.

**Особистий внесок здобувача** полягає у тому, що ним на основі аналізу машинобудування України та перспектив його розвитку, узагальнення досвіду проектування виробничих процесів, розроблено метод синтезу раціональних варіантів послідовності складання виробів, який враховує конструкторсько-технологічні признаки виробу, характеристики засобів технологічного оснащення, технологічні закономірності синтезу раціональної послідовності складання виробів і дозволяє мінімізувати тривалість виробничого циклу; розроблено математичну модель виробу і виробничої системи, що враховує складальні розмірні ланцюги, наявність базування, виділення вузлового складання і одночасної установки деталей і складальних одиниць на базову, екологічні вимоги і вимоги техніки безпеки; розроблено

алгоритм синтезу послідовності складання виробу, який відрізняється тим, що на основі системного підходу враховується комплекс факторів, які дозволяють сформулювати задану якість виробу і мінімізувати тривалість виробничого циклу.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати дисертаційної роботи були докладені на:

- 4-й міжнародній науково-методичній конференції “Критические технологии, автоматизация проектирования и производства изделий в машиностроении”, м. Алушта, 1997 рік;
- 5-й, • 6-й, • 7-й, • 8-й міжнародних науково-методичних конференціях “Современные технологии, экономика и экология в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве”, м. Алушта, 1998, 1999, 2000, 2001 роки;
- конференції викладачів, співробітників і студентів Сумського державного університету, м. Суми, 1997 рік;
- міжнародній науково-методичній конференції “Прогресивні технології машинобудування і сучасність”, м. Донецьк, 1997 рік;
- 27-th international conference of production engineering, Nish, Serbia, Yugoslavia, 1998 (27-а міжнародна конференція по продукції машинобудування, м. Ніш, Сербія, Югославія, 1998);
- міжнародній студентській науково-технічній конференції “Проблеми автоматизації технічних об’єктів і технологічних процесів в машинобудуванні, енергетиці і на транспорті”, м. Севастополь, 1999 рік.
- науковій професорсько-викладацькій конференції у Сумському державному аграрному університеті на тему “Построение рациональной последовательности сборки изделий ”, м. Суми, 2000 рік;
- 4-й міжнародній науково-технічній конференції “Якість машин”, м. Брянск, 2001 рік;
- II-й міжнародній конференції “Прогресивна техніка і технологія – 2001”, м. Севастополь, 2001 рік.
- 3-й міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми конструювання, виробництва і експлуатації сільськогосподарської техніки”, м. Кіровоград, 2001 рік.

**Публікації.** Основний зміст дисертації викладено автором у 17 наукових працях, з них у 7 статтях у наукових фахових виданнях , у 9 матеріалах праць науково-технічних конференцій і у 1 тематичному збірнику наукових статей.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації 220 сторінок, 49 ілюстрацій по тексту, 7 ілюстрацій на 7 сторінках, 14 таблиць по тексту, 1 таблиця на 2 окремих сторінках, 155 використаних літературних джерела на 15 сторінках, 3 додатки на 74 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі роботи обґрунтована актуальність проблеми синтезу раціональної послідовності складання виробу. Приводиться ціль роботи і задачі досліджень, визначається зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими програмами, темами, планами, визначається наукова новизна роботи і отримані практичні результати, приводиться інформація про апробацію роботи та основні публікації.

У результаті теоретичних і практичних досліджень по аналізу і синтезу технологічних процесів складання виробів виявлено шляхи скорочення тривалості виробничого циклу і збереження заданої високої якості виробів. У даному напрямку розглянуто і проаналізовано роботи Вищої технічної школи (Німеччина), технічного університету (м. Дрезден, Німеччина), Національного технічного університету (МВТУ ім. Баумана, Росія), Московського станкоінструментального інституту, Національного технічного університету (Харківського політехнічного інституту), Національного технічного університету (Київського політехнічного інституту), Національного аерокосмічного інституту Росії та інших.

При аналізі існуючого положення використані труди відомих у даній області вчених: Арпентьева Б.М., Беляніна П.Н., Гавриша А.П., Гусева А.А., Захарова М.В., Зєнкіна А.С., Корсакова В.С., Лебедовського М.С., Павлова В.В., Своятицького Д.Я., Тимофієва Ю.В., Федотова А.І., Челіщева Б.Е. та ін.

Виконаний аналіз показав, що, не дивлячись на виконання відомих робіт, необхідний подальший розвиток теорії технологічного проектування складальних процесів з урахуванням впливу конструкторсько-технологічних факторів на послідовність складання виробів. Враховуючи це, обґрунтовані мета роботи і задачі досліджень.

У дисертаційній роботі виявлено технологічні основи синтезу і розроблено формалізований метод синтезу раціональної послідовності складання виробу.

Аналіз технологічних схем складання (ТСС) виробів дозволив встановити зв'язок між їх структурним видом і кількістю теоретично можливих варіантів послідовностей складання виробів. Встановлено, що кількість теоретично можливих варіантів послідовностей складання для:

- послідовного структурного виду:

$$V_{m.noc.} = N!, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість складальних елементів (СЕ) у виробі;

- мінімально-паралельного структурного виду:

$$V_{m.min.-n.} = \left\{ \sum_{n=1}^{(N-2)-3} \left[ (2+n) \cdot \sum_{k=1}^n k \right] \right\} \times \left\{ \sum_{n=1}^{(N-2-2)-3} \left[ (2+n) \cdot \sum_{k=1}^n k \right] \right\} \times \dots \times \left\{ \sum_{n=1}^{(N-(R-3) \cdot 2)-3} \left[ (2+n) \cdot \sum_{k=1}^n k \right] \right\}, \quad (2)$$

де  $R$  – кількість рівнів графу ТСС ( $R=(N-2)/2$ );

- максимально-паралельного структурного виду:

$$V_{m.max.-n.} = \left\{ \prod_{n=1}^{N/2} (2n-1) \right\} * \left\{ \prod_{n=1}^{N/2^2} (2n-1) \right\} * \left\{ \prod_{n=1}^{N/2^3} (2n-1) \right\} * \dots * \left\{ \prod_{n=1}^{N/2^{R-2}} (2n-1) \right\}, \quad (3)$$

де  $R = \log_2 N + 1$ .

Аналіз формул (1), (2), (3) показав різкий зріст значень  $V_{m.noc.}$ ,  $V_{m.min.-n.}$ ,  $V_{m.max.-n.}$  при збільшенні  $N$ . Тому для великої кількості деталей у виробі не раціонально будувати всі теоретично можливих варіантів послідовностей складання виробу. Враховуючи цей фактор, на етапі побудови послідовності складання необхідно використовувати обмеження, відсіюючи непотрібні варіанти, і одержувати множину практично реалізуємих на виробництві послідовностей складання.

Це дозволить зберегти ресурси ЕОМ і скоротити час проектування ТПС.

У роботі у якості таких обмежень використовуються: обмеження зв'язків (матриця базування  $B(n,n)$ , матриця розмірних зв'язків  $R(n,n)$ ), матриця доступу  $D_s(k,k)$ , таблиця характеристик СЕ, матриця, що враховує точність виконання з'єднань  $Soed(k, 2)$ , матриця технологічних обмежень, що відображає набір, технологічні можливості операційних комплексів і їх взаємозв'язок, матриця екологічних обмежень  $E(k,k)$  і правила їх застосування.

У роботі враховано слідуючі конструкторсько-технологічні фактори, що впливають на раціональну послідовність складання виробу: технологічні можливості складальних операційних комплексів і їх взаємозв'язок транспортними засобами; маса, габаритні розміри СЕ, ієрархічна будова виробу; точність деталей і складальних одиниць; обмеження доступу на переміщення одних деталей іншими до місця установки; різна кількість рухів, у тому числі переорієнтації і переустановів у процесі складання; наявність загальних баз деталей і складальних одиниць; види складальних з'єднань і геометрична форма складальних елементів; вплив складального процесу на стан навколишнього середовища і працюючих людей.

При визначенні варіанту послідовності складання виробу враховується його ієрархічна побудова. Урахування ієрархічної побудови виробу дозволило значно спростити хід рішення задачі. Це дало можливість розробити алгоритм визначення раціональної послідовності складання для однієї складальної одиниці (СО), що складається з деталей, і поширити його на більш складні СО, до складу яких крім деталей входять СО. При поширенні рішення на всю структуру виробу, необхідно дотримуватись таких правил:

- якщо одна СО є складовою частиною іншої, то вхідна збирається раніше тієї, у яку вона входить;
- при складанні складної СО, що має у своєму складі дві і більше простіших СО, застосовуються спеціальні правила рангування. Рангування СО засноване на теорії розмірного аналізу і дозволяє визначити порядок входження більш простих СО у більш складну;
- при визначенні послідовності складання складної СО, СО нижчого рівня, що входять до її складу, приймаються за окремі неподільні конструктивні елементи.



Вивчення властивостей і взаємодій між елементами виробу дозволило виділити ряд технологічних факторів, що впливають на послідовність складання. Оскільки задача вирішується в автоматичному режимі, ці фактори знайшли своє математичне вираження у вигляді, зручному для представлення в пам'яті ЕОМ.

У конструкції зібраного виробу (СО) існує бінарний взаємозв'язок елементів, завдяки наявності зв'язків між їхніми поверхнями. Якщо між двома деталями або СО існує загальна база або зв'язок базування, то вони сполучаються по загальному контуру. Серед безлічі зв'язків базування виділяються основні і допоміжні. Допоміжні зв'язки реалізуються як наслідок реалізації основних.

Основні зв'язки базування, які має виріб, представлено у виді матриці  $B(n,n)$ , де  $n$  - кількість СЕ, що увійшли в дану СО. Елемент матриці:

$$B[i][j] = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й і } j\text{-й СЕ мають основний зв'язок базування.} \\ 0, & \text{якщо } i\text{-й і } j\text{-й СЕ не мають основних зв'язків базування.} \end{cases}$$

На рис. 1 представлена матриця і граф базування для виробу, що складається з десяти деталей.

Рис. 1. Математична модель зв'язків базування в конструкції виробу: а) – матриця базування; б) – граф базування.

Використання матриці базування дозволяє реалізовувати при складанні задане конструктором розташування СЕ у виробі.

У конструкції орієнтація одних деталей відносно інших визначається не тільки безпосереднім їхнім контактом, але і розмірними зв'язками, які необхідно враховувати для побудови раціональної послідовності складання виробу.

Математична модель, що відображає розмірні зв'язки в СО, представляється у вигляді матриці розмірних зв'язків  $R[n][n]$ , де  $n$  – кількість деталей, що входять у даний складальний розмірний ланцюг (СРЛ). При цьому елемент матриці:

$$R[i][j] = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я и } j\text{-я поверхности (вісі) СЕ пов'язані розмірним зв'язком,} \\ & \text{що являється замикаючою ланкою в данному СРЛ.} \\ z, & \text{якщо } i\text{-я и } j\text{-я поверхности (вісі) СЕ пов'язані розмірним} \\ & \text{зв'язком, що являється складеною ланкою у СРЛ.} \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

У матриці розмірних зв'язків змінна  $z$  приймає різні значення у залежності від методу досягнення точності замикаючої ланки:

$z=2$  - метод повної взаємозамінності;

$z=3$  - метод неповної взаємозамінності;

$z=4$  - метод групової взаємозамінності;

$z=5$  - метод пригону;

$z=6$  - метод регулювання;

$z=7$  - із застосуванням компенсуючих матеріалів.

Використання представленої інформації дозволяє з множини СЕ, що базуються по даному базовому СЕ, вибирати ті, котрі пов'язані з ним розмірними зв'язками, розглядати можливість їх складання у першу чергу, виявляти СРЛ у виробі і враховувати існуючі технологічні правила їх урахування при розробці раціональної послідовності складання.

На рис. 2 представлена матриця і граф, що відображає розмірні зв'язки в СО з 10 СЕ.

Рис. 2. Математична модель розмірних зв'язків: а) – матриця розмірних зв'язків; б) – граф розмірних зв'язків.

Дослідження показали: якщо виріб має кілька СРЛ, то складання потрібно починати з того розмірного ланцюга, який містить більшу кількість розмірних ланок, до забезпечення точності з'єднання яких пред'являються більш високі вимоги. У протилежному випадку, при складанні в першу чергу розмірних ланок, що мають великі погрішності розмірів, сумарна погрішність при складанні більш точних ланок різко зростає. Це приводить до необхідності застосування більш точних і дорогих засобів технологічного оснащення.

Для врахування точності окремих деталей і СО при визначенні послідовності складання використовується матриця точності деталей і СО ( $Soed(k,2)$ ), що беруть участь в утворенні з'єднання. Використання даної матриці при рішенні дозволяє визначати ступінь точності розмірів, здійснювати їх реалізацію в послідовності, що залежить від цієї точності.

Відомо, що ручні і механізовані процеси складання вимагають великих витрат часу, засобів, трудових ресурсів на виконання робіт і, як правило, найчастіше якість виконаних операцій низьке. У зв'язку з цим, у першу чергу серед деталей і СО пріоритетом на послідовність складання користуються ті з них, що мають більш високий бал технологічності за методикою д.т.н., проф. Федотова А.І.

При побудові послідовності складання необхідно також враховувати масу і габаритні розміри СЕ. У першу чергу необхідно здійснювати складання тих СЕ, що мають велику масу і великі габаритні розміри. Це пояснюється тим, що СЕ великих мас і великих габаритних розмірів

важко переміщати і з'єднувати з необхідною точністю. Крім того, збільшення маси і габаритів СЕ спричиняє збільшення маси і розмірів використовуваного устаткування.

Для врахування маси, габаритних розмірів та рівня технологічності складальних елементів використовується таблиця їх характеристик.

Значний вплив на послідовність складання спричиняють обмеження доступу. Дана інформація може бути представлена двома способами: у вигляді матриці, що задає порядок входу СЕ у виріб і у вигляді матриці, що задає порядок виконання з'єднань. У роботі виявлено переваги другого способу представлення інформації доступу. Тому при рішенні задачі використовується матриця доступу  $D^s[k][k]$ , задана з'єднаннями, де  $k$  - кількість складальних з'єднань у даній СО. Елемент матриці:

$$D^s[i][j] = \begin{cases} 1, & \text{якщо реалізації } i\text{-го з'єднання у складанні передують } j\text{-е.} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

На рис. 3 представлені матриця і граф конструкторських обмежень доступу для виробу, в якому виявлено 9 з'єднань.

При побудові матриці доступу  $D^s(k, k)$  немає необхідності виділяти ведучий (базовий) СЕ в СО (виробі) і відносно нього відсліджувати обмеження на можливість установки (з'єднання) інших СЕ. Схема доступу  $D^s(k, k)$ , задана з'єднаннями, дозволяє враховувати ряд інших обмежень, пов'язаних з технологією виконання деяких операцій, з можливостями засобів технологічного оснащення і впливом складального процесу на стан навколишнього середовища і працюючих людей.

Рис. 3. Математична модель конструкторських обмежень на виконання з'єднань у виробі:  
а) – матриця доступу; б) – граф доступу.

На послідовність складання впливають характеристики виробничої системи: технологічні можливості операційних комплексів і їх взаємозв'язок транспортними засобами. Матриця взаємозв'язків операційних комплексів (ОК)  $T(p, p)$ , де  $p$  – кількість ОК задіяних при складанні виробу, будується таким чином:

$$T[i][j] = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i\text{-й і } j\text{-й ОК не пов'язані між собою.} \\ 1, & \text{якщо } i\text{-й і } j\text{-й ОК працюють паралельно.} \\ 2, & \text{якщо } i\text{-й і } j\text{-й ОК працюють послідовно.} \\ 3, & \text{якщо } i\text{-й і } j\text{-й ОК можуть працювати як паралельно, так і послідовно.} \end{cases}$$

Технологічні обмеження містять інформацію про можливості наявного устаткування, технологію виконання окремих видів робіт. Побудова технологічних обмежень регламентується різними інструкціями, керівними матеріалами, що є узагальненням накопиченого досвіду і знань про виробництво, тому їх використання при рішенні даної задачі дозволяє уникнути суб'єктивізму при прийнятті рішення.

На рис. 4 представлені матриця і граф технологічних обмежень:

Рис. 4. Технологічні обмеження: а) – матриця технологічних обмежень; б) – граф технологічних обмежень.

Використання матриці  $T(p, p)$  дозволяє враховувати структуру виробничої системи при рішенні задачі, і, отже, підвищити якість рішення, проводити відпрацювання на технологічність варіанта складання у процесі його проектування.

Для виявлення операційних комплексів, які задіяні для виконання операцій складання виробу, використовується математична модель, що відображає зв'язок номера ОК з номером складального з'єднання (або групи з'єднань).

Сполучною ланкою між номерами складальних з'єднань і номерами СЕ, що їх утворюють, є матриця зв'язків  $S(n, n)$ . Елемент матриці:

$$S[i][j] = \begin{cases} s, & \text{якщо між } i\text{-м і } j\text{-м СЕ існує з'єднання (} s \text{ – номер з'єднання).} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Для врахування екологічно шкідливих операцій при визначенні послідовності складання використовується матриця екологічних обмежень  $E(k, k)$ . Матриця будується таким чином:

$$E[i][j] = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-у операцію необхідно виконувати на окремих складальних дільницях.} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Використання матриці екологічних обмежень дозволяє враховувати фактори шкідливого впливу деяких складальних операцій на стан здоров'я людей і навколишнє середовище. При цьому ці операції виносяться в кінець виконання технологічного процесу складання, якщо це дозволить конструкція виробу, і видаються рекомендації по виконанню їх на окремих складальних дільницях.

Математична модель, що містить екологічні фактори складальних процесів представлена на рис. 5.

Рис. 5. Математична модель екологічних обмежень: а) – матриця екологічних обмежень; б) – граф екологічних обмежень.

Розроблені математичні моделі дозволяють враховувати технологічні можливості складальних операційних комплексів і їх взаємозв'язок транспортними засобами; масу і габаритні розміри деталей, ієрархічність будови виробів; точність окремих деталей і складальних одиниць; обмеження доступу на переміщення одних деталей іншими до місця установки; кількість переорієнтації і переустановів у процесі складання; наявність загальних баз деталей і складальних одиниць; види складальних з'єднань і геометричну форму складальних елементів; вплив складального процесу на стан навколишнього середовища і працюючих людей.

З використанням матриць: базування  $B(n, n)$ , доступу  $D^s(k, k)$ , розмірних зв'язків  $R(n, n)$ , матриці, що відображає точність виконання з'єднань  $Soed(k, 2)$ , таблиці характеристик СЕ та матриці екологічних обмежень  $E(k, k)$  синтезується множина раціональних варіантів послідовностей складання виробу  $Raz \{R_1, R_2, \dots, R_z\}$ . Кожна з послідовностей, що увійшла до складу цієї множини розглядається на можливість реалізації в існуючій технологічній системі (рис.6).

Відпрацювання на виробничу технологічність множини варіантів послідовностей складання проводиться з використанням матриці технологічних обмежень  $T(p, p)$ , матриці взаємозв'язку номера ОК з номером складального з'єднання та матриці зв'язків  $S(n, n)$ .

Ті варіанти складання виробу, які можуть бути реалізовані в заданій виробничій системі формують підмножину практично реалізуємих варіантів складання  $Real \{r_1, r_2, \dots, r_x\}: Real \subseteq Raz$ .

Рис. 6. Блок-схема алгоритму відпрацювання на виробничу технологічність множини варіантів послідовностей складання виробу.

Далі проводиться оцінка на раціональність по тривалості виробничого циклу кожного з варіантів складання, який увійшов у підмножину  $Real \{r_1, r_2, \dots, r_x\}$  і формується підмножина раціональних по тривалості виробничого циклу варіантів складання виробу  $Raz_{T_{\text{ц}}} \{z_1, z_2, \dots, z_r\}: Raz_{T_{\text{ц}}} \subseteq Real \subseteq Raz$ .

При оцінці раціональності структурного виду послідовності складання виконуються наступні дії:

1) будується граф ТСС для кожного з варіантів складання, що увійшли до складу підмножини  $Real \{r_1, r_2, \dots, r_x\}$ .

2) розраховується фактичне значення  $K^{\phi}_{\phi.c} = \frac{2(R-1)}{N}$  ( $R$  – кількість рівней графу ТСС,

$N$  – кількість СЕ у виробі) для кожної ТСС;

3) перевіряється, чи належить розраховане числове значення  $K^{\phi}_{\phi.c}$  проміжку:

$$\frac{2 \log_2 N}{N} \leq K^{\phi}_{\phi.c} \leq 1 \quad (4)$$

У випадку, коли числове значення  $K^{\phi}_{\phi.c}$  належить даному проміжку, то послідовність складання, для якої розрахований  $K^{\phi}_{\phi.c}$  поповнює підмножину  $Raz_{T_u} \{z_1, z_2, \dots, z_r\}$ . Якщо жоден з  $K^{\phi}_{\phi.c}$  не потрапив в область раціональності (4), то видаються рекомендації щодо зміни структури конструкції виробу або виробничої системи.

Оскільки виріб має ієрархічну структуру проводиться раціональність як окремих вузлів, що складають виріб, так і усього виробу в комплексі.

На основі врахування представлених вище факторів, розроблено метод синтезу раціональних послідовностей складання виробу, блок-схема алгоритму якого представлена на рис. 7.

Оскільки при визначенні послідовності складання виробу виділяються групи деталей (СО) по горизонталі і по вертикалі (рис. 8), у роботі були проведені дослідження, що дозволили встановити слідує:

1. Якщо в даній СО всі з'єднання виконуються послідовно, то проводити складання СО слід по виділеним у ній групам "по вертикалі", так як це приводить до скорочення тривалості циклу складання за рахунок мінімізації кількості позицій.

2. Якщо відомо, що деякі з'єднання, що виконуються при складанні СО, можуть виконуватися одночасно, необхідно окремо дослідити складання по групам "по горизонталі" і "по вертикалі" на тривалість виконання.

При цьому, якщо в результаті було виявлено, що  $T_{ц.гор} > T_{ц.вер.}$ , то складання слід проводити по групам "по вертикалі", у протилежному випадку, якщо  $T_{ц.гор} < T_{ц.вер.}$  - по групам "по горизонталі".

Рис. 7. Блок-схема алгоритму синтезу множини раціональних по тривалості виробничого циклу варіантів послідовностей складання виробу (СО).

За розробленим методом синтезу раціональних варіантів технологічних процесів складання приводиться приклад апробації. При цьому виконано аналіз діючих на виробництві технологічних процесів складання та виконується їх порівняння з одержаним варіантом технологічних процесів, розробленим з використанням отриманих наукових результатів.

Рис. 8. Виділення груп по горизонталі і по вертикалі у виробі, що складається з 11 СЕ (*A, B, C, D, A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> D<sub>1</sub> B<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>* – позначення виконуваних з'єднань).

Економічна ефективність від використання одержаних наукових результатів складає: на виробничому об'єднанні ВАТ “ДОНЕЦЬКГОРМАШ”, м. Донецьк – 48 тис. грн. в рік; на виробничому об'єднанні ДНВП “НИКМАС-РОТОР” м. Суми – 53 тис. грн. в рік; на виробничому об'єднанні ОАО “ЛуганськПТИМАШ”, м. Луганськ – 28 тис. грн. в рік; на ОАО “Сумського машинобудівного НВО ім. Фрунзе”, м. Суми – 32 тис. грн. в рік.

На основі проведених досліджень встановлено, що комплексне врахування факторів, які здійснюють вплив на синтез послідовності складання, дозволяє не тільки скоротити тривалість виробничого циклу, а й покращити якість виробів, що збираються шляхом врахування складальних розмірних ланцюгів.

Теоретичні дослідження і практичні експерименти показали, що використання технологічних правил при синтезі послідовності складання дозволяє значно скоротити кількість варіантів складання, які переглядаються з ціллю вибору раціонального.

Таким чином проведені дослідження дозволяють удосконалювати діючі технологічні процеси складання і проектувати раціональні технологічні процеси виробництва, що знов створюються.

Використання одержаних результатів в навчальному процесі дозволяє значно підвищити якість підготовки спеціалістів.

## **ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі викладені результати теоретичних і практичних досліджень аналізу і синтезу одного з основних елементів технологічного процесу складання – технологічних схем складання виробів.

Отримані результати дають основу для синтезу раціональних технологічних процесів складання виробів з урахуванням ряду конструкторсько-технологічних правил, що обмежують перебір варіантів і дозволяють мінімізувати тривалість виробничого циклу.

1. При аналізі і синтезі послідовності складання виробів кількість варіантів складання, як правило, велике, що приводить до необхідності розробки спеціальних правил для їхнього зменшення.
2. Врахування конструкторсько-технологічних факторів при синтезі раціональної послідовності складання, таких як: наявності базування між складальними елементами, обмеження доступу

одних деталей іншими до місця установки, можливості виділення вузлового складання, можливості одночасної установки кількох деталей на базову, кількості установів і позицій, складальних розмірних ланцюгів, точнісних параметрів деталей, можливостей обладнання, що виконує складання, екологічних обмежень і правил безпечного виконання роботи при складанні; дозволяє не тільки скоротити кількість синтезованих варіантів, але і підвищити якість процесу складання виробів.

3. Розроблені математичні моделі виробів і виробничих систем з використанням теорії матриць і графів, забезпечують їх сумісність при рішенні задач аналізу і синтезу технологічних процесів складання.
4. Розроблений на основі системного підходу алгоритм синтезу раціональної послідовності складання виробів, враховує не тільки комплекс факторів, що забезпечують високу якість виробу, але і високу якість технологічного процесу, що дозволяє мінімізувати тривалість виробничого циклу за рахунок максимального виділення вузлового складання, скорочення кількості установів і позицій, використання можливості одночасної установки кількох базових деталей на базову, екологічні вимоги і вимоги техніки безпеки.
5. На основі проведених досліджень встановлено, що комплексне врахування факторів, які здійснюють вплив на синтез послідовності складання, дозволяє не тільки скоротити тривалість виробничого циклу, а й покращити якість виробів, що підлягають складанню шляхом врахування складальних розмірних ланцюгів.
6. Результати досліджень були використані для аналізу і синтезу технологічних процесів складання у виробничих умовах.

Використання результатів на виробничому об'єднанні ДНВП “Никмас-Ротор” дозволило одержати економічний ефект у сумі 53 тис. грн. у рік; на виробничому об'єднанні ВАТ “ДОНЕЦКГОРМАШ” – 48 тис. грн. у рік; на виробничому об'єднанні ВАТ “Луганскптимаш” – 28 тис. грн. у рік; на ОАО “Сумського машинобудівного НВО ім. Фрунзе” з економічною ефективністю 32 тис. грн. в рік.

Використання результатів дисертаційної роботи в навчальному процесі Харківської інженерно-педагогічної академії та Сумського національного аграрного університету дозволяє підвищити якість підготовки фахівців.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Чибирик Я.И. Системный подход в научных исследованиях // Современные технологии машиностроения. Прогрессивные методики преподавания в вузе: Тематический сборник научных статей. – Киев: ИСМО.– 1997.– С.60-65.



2. Чиби́ряк Я.И. Принцип системности при автоматизации проектирования технологических процессов сборки // Тезисы докладов научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов. - Сумы: СумГУ. - 1997. - С. 113-114.
3. Захаров Н.В., Чиби́ряк Я.И. Синтез технических систем с учетом надежности их работы // Прогрессивные технологии машиностроения и современность: Сборник трудов Международной научно-технической конференции. – Донецк: ДонГТУ. – 1997. - С. 107-108.
4. Захаров Н.В., Коноплянченко Е.В., Радчук О.В., Чиби́ряк Я.И. Возможность оценки конструкции изделия на технологичность на всех стадиях жизненного цикла // Сборник научных трудов Харьковского института социального прогресса.–Харьков: ХИСП. - 1998. - Вып3. – С.110-114.
5. Захаров М.В., Чиби́ряк Я.И., Захаров М.М. Підвищення ефективності виробництва шляхом раціонального синтезу їх структур // Проблеми реформування економіки України в умовах транзиції: Матеріали Міжнар. наук.-практ. конфер. – Харків: ХІБМ.- 1998. - С. 266-267.
6. Захаров Н.В., Захаров М.Н., Чиби́ряк Я.И. Рациональный синтез и унификация автоматизированных сборочных технологических систем // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. - 1999. – Вып. 60. – С. 28-35.
7. Захаров М.В., Коноплянченко Є.В., Радчук О.В., Чиби́ряк Я.І. Екологічні вимоги до виробів і виробничих процесів машинобудування АПК // Екологічність продукції АПК: Економіка та екологія: Зб. статей за матер. Міжнар. наук.-практ. конф. – В 2 т. – Т. 2. – Суми: „Козацький вал”. – 1999.- С. 87-92.
8. Чиби́ряк Я.И. Рациональная последовательность сборки изделий // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.– 2000. – Вып. 110. – С. 252-271.
9. Мельніченко О.А., Чиби́ряк Я.І. Підвищення якості виробництва агрегатних станків // Вісник Сумського державного аграрного університету.- 2000.- №5.- С. 148-152.
10. Захаров Н.В., Коноплянченко Е.В., Радчук О.В., Чиби́ряк Я.И. Новые формы организации производственных процессов // Сучасне машинобудування: Науково-технічний журнал. – Київ: АТМУ. – 1-2(3-4)/2000. – С. 8-13.
11. Чиби́ряк Я.И. Построение рациональной последовательности сборки изделий // Професорсько-викладацька та студентська наукова конференція: Тези доповідей. – Сумы: СДАУ.- 2000.- С.16-18.
12. Чиби́ряк Я.И. Рациональный синтез последовательности сборки изделий // Современные технологии, экономика и экология в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве: Сборник научных статей по материалам 7-й Междунар. науч.-метод. конфер. - В 2 т. – Т. 2.- Киев: НМЦВОУ.- 2000.- С. 34-40.

13. Чиби́ряк Я.И. Моделирование последовательности сборки изделий // Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”. – Харьков: НТУ „ХПИ”. - 2001. – Вып. 10. – С. 128-136.
14. Чиби́ряк Я.І. Удосконалення проектування складальних процесів у машинобудуванні // Механіка та машинобудування: Науково-технічний журнал. – 2000.- №1.- С.256-260.
15. Чиби́ряк Я.І. Залежність кількості варіантів послідовностей складання від виду структури технологічної схеми складання // Вісник Сумського державного аграрного університету.- 2001.- № 6.- С.122-128.
16. Чиби́ряк Я.И., Яременко В.П., Захаров М.Н. Классификация структур сборочных систем // Качество машин: Сборник трудов 4-й науч.-техн. конф.– В.2 т. – Т.2. – Брянск: БДТУ.- 2001.- С.113-115.
17. Захаров Н.В., Чиби́ряк Я.И. Повышение эффективности сборочного производства путем синтеза рациональной последовательности сборки изделий // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарської техніки. – Кіровоград: КДТУ. – 2001.- С. 49-52.

## АНОТАЦІЇ

Чиби́ряк Яна Іванівна. “Скорочення тривалості виробничого циклу шляхом синтезу раціональної послідовності складання виробів”. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2002.

Дисертація присвячена питанням скорочення тривалості виробничого циклу завдяки побудові раціонального варіанту послідовності складання. Одержала подальший розвиток теорія проектування технологічних процесів складання. Розроблено метод синтезу раціональних варіантів послідовності складання виробів, що враховує ряд технологічних закономірностей послідовності складання і дозволяє мінімізувати тривалість виробничого циклу. Розроблено математичну модель виробу і виробничої системи, що враховує складальні розмірні ланцюги, наявність базування, виділення вузлового складання і одночасної установки деталей і складальних одиниць на базову, екологічні вимоги та вимоги техніки безпеки. Розроблено алгоритм синтезу послідовності складання виробу, який відрізняється тим, що на основі системного підходу враховується комплекс факторів, які дозволяють сформулювати задану якість виробу і мінімізувати тривалість виробничого циклу. Результати дисертаційної роботи впроваджено у виробництво та навчальний процес.

**Ключові слова:** якість виробу, складання, раціональний синтез, тривалість виробничого циклу.

Chibiryak Y.I. “Reduction of duration of production cycle by synthesis of rational sequence of assemble of workpieces”. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science behind a speciality 05.02.08 – mechanical engineering technique. National engineering university “ the Kharkov polytechnic institute ”, Kharkov, 2002.

The thesis is devoted by a question of abbreviation of duration of a production cycle by construction of rational variant of balance of assembly. In operation the theory of projection of technological processes of assembly has received the further development. The method of synthesis of rational variants of balance of assembly of workpieces is developed which takes into account a series of technology factors of balance of assembly and allows to minimize duration of a production cycle. The mathematical model of an article and industrial system is developed which takes into account assembly of a circuit, presence of referencing, selection of nodal folding both simultaneous installation of details and assembly units on base. The algorithm of synthesis of balance of assembly of an article is developed which differs by that on the basis of a system approach the complex of the factors is taken into account which allow to generate the given quality of an article and to minimize duration of a production cycle. The results of operation are introduced on manufacture and in educational process.

**Key words:** quality, assembly, rational synthesis, duration of a production cycle.

Чибирик Яна Ивановна. “Сокращение длительности производственного цикла путем синтеза рациональной последовательности сборки изделий”. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2002.

Диссертация посвящена вопросам сокращения длительности производственного цикла путем синтеза рациональной последовательности сборки изделий.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, выводов, списка использованных источников, приложений.

Первый раздел посвящен анализу основных путей совершенствования сборочных процессов в машиностроении. Рассмотрены существующие методы синтеза последовательности сборки изделий, выявлены их достоинства и недостатки, а также рассмотрено влияние последовательности сборки на длительность производственного цикла. Обоснован выбор критерия оптимизации – длительности производственного цикла. Исследования, выполненные в 1-й главе позволили определить цель работы и задачи исследований.

Второй раздел посвящен выявлению технологических закономерностей и разработке математических моделей синтеза рациональной последовательности сборки изделий.

Анализ особенностей структуры изделия позволил установить основные факторы, влияющие на длительность производственного цикла. К таким факторам относятся: членение изделия на сборочные единицы, количество установов и позиций, возможность одновременной установки нескольких сборочных элементов (СЭ) на базовую.

Проведенный количественный анализ вариантов последовательностей сборки позволил выявить аналитические зависимости для определения количества возможных вариантов сборки для последовательного, минимально-паралельного и максимально-паралельного структурных видов технологических схем сборки.

Выполнен количественный анализ вариантов и разработаны математические модели конструкторско-технологических ограничений на последовательность сборки изделий. Для синтеза возможных вариантов последовательностей сборки разработаны математические модели. При построении математических моделей используется теория графов, теория матриц и математическая логика для описания хода решения задачи. Это позволило обеспечить математическую совместимость условий и задач при анализе и синтезе последовательности сборки.

В третьем разделе разработан метод синтеза рациональной последовательности сборки изделия, алгоритмическое обеспечение решения задачи. При синтезе рациональных вариантов учитываются технологические возможности производственной системы: возможность дифференциации или концентрации операций, наличие возможности одновременного присоединения нескольких базирuемых деталей на базовую, возможность минимизации количества установов и позиций при сборке. Разработанный метод позволяет на первом этапе определения последовательности сборки в автоматическом режиме выбирать возможные базовые детали и формировать набор подграфов (сборочных единиц). Для определения последовательности реализации подграфы ранжируются: по степени связности, по методу достижения точности СРЦ, по точности СЭ, по количеству СЭ в подграфах, по количеству размерных связей, по массе и габаритным размерам СЭ. При определении последовательности сборки в сборочно единице (СЕ) осуществляется выделение групп подборок по горизонтали (по условиям доступа) и по вертикали (по условиям связей предшествования сборки с учетом направлений установки деталей для уменьшения количества позиций) и осуществляется моделирование возможных вариантовборок.

В группах по вертикали осуществляется ранжирование деталей (СЕ) по экологическим ограничениям, размерным характеристикам, по точности выполняемых соединений.

В четвертом разделе приведены некоторые результаты практической реализации разработанного метода. На примере технологического процесса сборки показано применение метода в реальных производственных условиях. Использование метода позволило

усовершенствовать применяемую технологию сборки и сократить длительность производственного цикла.

**Ключевые слова:** качество изделия, сборка, рациональный синтез, длительность производственного цикла.